

**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

Суслин А. В.  
(подпись) ФИО  
«31» 05 2022

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ**  
**АРТИЛЛЕРИЙСКОГО, РАКЕТНОГО И БОМБОВОГО ВООРУЖЕНИЯ**

Направление/специальность подготовки 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели

Специализация/профиль/программа подготовки ☒ Боеприпасы  
Информационные технологии проектирования боеприпасов и взрывателей

Уровень высшего образования Специалитет

Форма обучения Очная

Факультет Е Оружие и системы вооружения

Выпускающая кафедра ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ

Кафедра-разработчик рабочей программы ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ

| КУРС  | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ<br>(ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) |        |                           |                         |                        |                 |                 |                               |              | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО<br>КОНТРОЛЯ |
|-------|---------|---|--------------------|---------------------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------|
|       |         |   |                    | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ              |        |                           |                         | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА |                 |                 |                               |              |                                |
|       |         |   |                    | ВСЕГО                           | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ<br>ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ<br>ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО                  | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ<br>САМОСТ. РАБОТЫ |              |                                |
| 5     | 9       | 4                                       | 144                | 68                              | 34     | 34                        | 0                       | 76                     | 0               | 0               | 76                            | экз.         |                                |
| 5     | 10      | 3                                       | 108                | 68                              | 34     | 34                        | 0                       | 40                     | 0               | 18              | 22                            | диф.<br>зач. |                                |
| ВСЕГО |         | 7                                       | 252                | 136                             | 68     | 68                        | 0                       | 116                    | 0               | 18              | 98                            |              |                                |

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

**17.05.01 Боеприпасы и взрыватели**

год набора группы: 2022

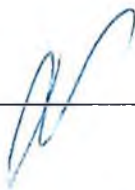
Программу составил:

Кафедра ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ  
Кэрт Борис Эвальдович, д.т.н., заведующий кафедрой



Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ**

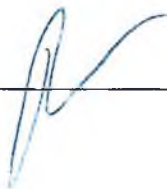
Заведующий кафедрой Кэрт Б.Э., д.т.н., проф.



Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**ЕЗ СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ**

Заведующий кафедрой Кэрт Б.Э., д.т.н., проф.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО,  
РАКЕТНОГО И БОМБОВОГО ВООРУЖЕНИЯ**

**Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

# 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

|                  |   |
|------------------|---|
| 17.05.01<br>(ЕЗ) | ПСК-22 — способность самостоятельно разрабатывать математические модели физических процессов при функционировании образцов боеприпасов и взрывателей  |
| 17.05.01<br>(ЕЗ) | ОПК-12 — способность качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения |
| 17.05.01<br>(ЕЗ) | ОПК-12 — способность качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения |

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ПСК-22 (17.05.01, ЕЗ)**

знания:

на уровне представлений:

- перечень физико-механических процессов, определяющих функционирование типовых систем ракетно-артиллерийских вооружений и боеприпасов к ним как газо-жидкостных тепломеханических систем твердых и деформируемых тел, набор типовых дифференциальных уравнений, используемых для описания этих процессов с учетом их взаимосвязи, набор типовых конечно-разностных схем, используемых при аппроксимации этих уравнений и набор методов решения возникающих систем алгебраических уравнений.

на уровне воспроизведения:

- современные методы численной реализации систем дифференциальных уравнений, описывающих типовые процессы баллистического функционирования ракетно-артиллерийских комплексов и боеприпасов к ним;

- методы программной реализации математических моделей в рамках современных программных комплексов;

- методы графической обработки, визуализации и представления результатов расчетов процессов функционирования;

на уровне понимания:

- условия, обеспечивающие устойчивость вычислительных алгоритмов и способы проверки адекватности результатов расчетов физической реальности;

умения:

теоретические:

- строить математические модели и методы численной реализации типовых сопряженных задач баллистического функционирования современных систем ракетно-артиллерийских вооружений и боеприпасов к ним;

практические:

- использовать методы расчета горения порохов в системах сообщающихся объемов с подвижными элементами, методы расчета процессов тепло-и массообмена при выстреле, старте ракет, внутрикамерных процессов в РДТТ и ствольных системах, пространственного движения снарядов и ракет по траектории, разделения снарядов и ракет на траектории, функционирования газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов;

навыки:

расчета физико-механических процессов баллистического функционирования ракетно-артиллерийских вооружений с помощью пакета прикладных программ машинного анализа тепломеханических систем "MATMEX".

## **ОПК-12 (17.05.01, ЕЗ)**

знания:

на уровне представлений:

- основные законы механики и физики и методы составления на их основе систем дифференциальных уравнений, определяющих функционирование современных систем ракетно-артиллерийских вооружений в рамках моделей различного класса сложности;

на уровне воспроизведения:

- современные методы корректной численной реализации систем дифференциальных уравнений, описывающих типовые физико-механические процессы функционирования ракетно-артиллерийских комплексов и боеприпасов к ним;

- методы программной реализации математических моделей в рамках современных программных комплексов;
- методы графической обработки, визуализации и представления результатов расчетов процессов функционирования;
  - на уровне понимания:
    - условия, обеспечивающие устойчивость вычислительных алгоритмов и способы проверки адекватности результатов расчетов физической реальности;
  - умения:
    - теоретические:
      - строить математические модели и методы численной реализации типовых сопряженных задач функционирования современных систем ракетно-артиллерийских вооружений и боеприпасов к ним;
    - практические:
      - использовать методы расчета горения порохов в системах сообщающихся объемов с подвижными элементами, методы расчета процессов тепло-и массообмена при выстреле, старте ракет, внутрикамерных процессов в РДТТ и ствольных системах, пространственного движения снарядов и ракет по траектории, разделения снарядов и ракет на траектории, функционирования газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов;
  - навыки:
    - расчета физико-механических процессов функционирования ракетно-артиллерийских вооружений с помощью современных программных средств.

#### **ОПК-12 (17.05.01, ЕЗ)**

- знания:
  - на уровне представлений:
    - основные законы механики и физики и методы составления на их основе систем дифференциальных уравнений, определяющих функционирование современных систем ракетно-артиллерийских вооружений в рамках моделей различного класса сложности;
  - на уровне воспроизведения:
    - современные методы корректной численной реализации систем дифференциальных уравнений, описывающих типовые физико-механические процессы функционирования ракетно-артиллерийских комплексов и боеприпасов к ним;
    - методы программной реализации математических моделей в рамках современных программных комплексов;
    - методы графической обработки, визуализации и представления результатов расчетов процессов функционирования;
      - на уровне понимания:
        - условия, обеспечивающие устойчивость вычислительных алгоритмов и способы проверки адекватности результатов расчетов физической реальности;
      - умения:
        - теоретические:
          - строить математические модели и методы численной реализации типовых сопряженных задач функционирования современных систем ракетно-артиллерийских вооружений и боеприпасов к ним;
        - практические:
          - использовать методы расчета горения порохов в системах сообщающихся объемов с подвижными элементами, методы расчета процессов тепло-и массообмена при выстреле, старте ракет, внутрикамерных процессов в РДТТ и ствольных системах, пространственного движения снарядов и ракет по траектории, разделения снарядов и ракет на траектории, функционирования газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов;
      - навыки:
        - расчета физико-механических процессов функционирования ракетно-артиллерийских вооружений с помощью современных программных средств.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО, РАКЕТНОГО И БОМБОВОГО ВООРУЖЕНИЯ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлениям: 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели, 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА, КОНСТРУКЦИИ И ДЕЙСТВИЕ БОЕПРИПАСОВ, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, УСТРОЙСТВО БОЕПРИПАСОВ, ВЗРЫВАТЕЛЕЙ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЙСТВИЕМ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ, ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОФИЗИКА СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ, ТЕОРИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, СИСТЕМЫ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО И РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ, ФИЗИКА ВЗРЫВА И УДАРА, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВЫПОЛНЕНИЕ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ, ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-12 — Способен качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-2 — Способен самостоятельно применять приобретенные математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения инженерных задач
- ПСК-25 — Способен ориентироваться в многообразии современных образцов боеприпасов, взрывателей, систем артиллерийского и ракетного вооружения, демонстрировать знание их технических характеристик и конструктивных особенностей, применяемых материалов и технологий
- ПСК-26 — Способен осуществлять профессиональную деятельность и применять методы математического моделирования боевой эффективности, надежности, баллистики, аэродинамики, взрыва, высокоскоростного удара, кумуляции, напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций боеприпасов, а также сопутствующих взрывных технологий и технологий двойного назначения

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 з.е., 252 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

| КУРС                      | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц   | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                        | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |                   |                   |
|---------------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
|                           |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Лабораторный практикум |                                  | ПСК-22 (17.05.01)          | ОПК-12 (17.05.01) | ОПК-12 (17.05.01) |
| 5                         | 9       | <b>Раздел 1. Системы вооружения и боеприпасы как газожидкостные тепломеханические системы твердых и деформируемых тел.</b> Лекция 1.1. Представление процесса функционирования системы ракетно-артиллерийского вооружения или боеприпаса к ней как задачи расчета динамики единой газожидкостной тепломеханической системы твердых и деформируемых тел. Представление системы в виде совокупности типовых элементов – сосудов, каналов, прогреваемых стенок, типовых механических и гидравлических подсистем. Общая характеристика математических моделей элементов и расчетного метода в целом. Лекция 1.2. Примеры представления конкретных технических устройств (артиллерийский выстрел, ракетный двигатель твердого топлива, разделяющаяся головная часть неуправляемого реактивного снаряда, корректируемый на траектории артиллерийский или ракетный снаряд и пр. Порядок применения соотношений термодинамики к описанию изменения параметров рабочего тела переменной массы.  | 24    | 14                                    | 4      | 10                     | 10                               | 6                          | 6                 | 6                 |
| 5                         | 9       | <b>Раздел 2. Расчет внутрибаллистических процессов при горении порохов в системах сообщающихся объемов с подвижными элементами.</b> Лекция 2.1. Структура типового сосуда тепломеханической системы. Рабочее тело системы как гетерогенная смесь бинарной газовой фазы, горящих частиц пороха и инертных частиц твердого остатка от горения. Основные физические допущения. Уравнение состояния бинарной смеси газов. Лекция 2.2. Уравнения изменения массовых параметров газо-топливной смеси в типовом сосуде (уравнение изменения массы газовой фазы, уравнение изменения массовой доли первой компоненты газовой фазы, уравнение изменения массы горящих зерен топлива, уравнение изменения массы твердого остатка) Лекция 2.3. Уравнения изменения энергетических параметров газо-топливной смеси в типовом сосуде (уравнение изменения внутренней энергии газовой фазы, уравнение изменения свободного объема газовой фазы). Лекция 2.4. Уравнения движения подвижных элементов стенок, уравнения изменения величин свода зарядов-моноблоков и зерен пороха. Лекция 2.5. Замыкание уравнений изменения внутрибаллистических параметров системы сообщающихся объемов. Расчет расходов при перетоке газа из сосуда в сосуд, расчет тепловых потерь рабочего тела. Лекция 2.6. Расчет теплообмена между газом и твердым остатком, расчет кондуктивного теплообмена между твердым остатком и стенками, расчет скоростей стационарного горения порохов. Лекция 2.7. Учет процессов переноса зерен пороха из сосуда в сосуд при горении. Уравнение изменения числа зерен в сосуде при истечении газо-топливной смеси через отверстие. Лекция 2.8. Расчет коэффициентов перекрытия отверстий зернами и работы, совершаемой газом при перетоке зерен. Алгоритм расчета горения газо-пороховой смеси в проточном сосуде, заполняемом из смежных полостей с зерненными зарядами. Алгоритм расчета горения в произвольной системе сообщающихся сосудов. | 62    | 28                                    | 16     | 12                     | 34                               | 24                         | 24                | 24                |
| 5                         | 9       | <b>Раздел 3. Разностные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.</b> Лекция 3.1. Сеточные методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Одношаговые и многошаговые, явные и неявные. Структура погрешности численных методов. Погрешность метода на шаге интегрирования (локальная погрешность). Явные методы Рунге-Кутты. Лекция 3.2. Оценка локальной погрешности на шаге интегрирования по правилу Рунге. Оценка локальной погрешности на основе комбинации специально подобранных формул. Автоматический выбор шага интегрирования по методу Рунге и с помощью контрольного члена Егорова. Лекция 3.3. Жесткие системы уравнений. Особенности интегрирования. Ограниченность возможностей явных схем Рунге-Кутты. Простейшие неявные методы. Лекция 3.4. Метод итераций для нелинейного алгебраического уравнения. Метод простых итераций и метод Ньютона. Особенности расчетов при решении задач внутренней баллистики ГЖТМС и пространственного движения снарядов и ракет.  | 38    | 20                                    | 8      | 12                     | 18                               | 12                         | 12                | 12                |
| 5                         | 9       | <b>Раздел 4. Динамика разделения боеприпасов на траектории-1.</b> Лекция 4.1. Разделяющийся боеприпас как тепломеханическая система. Динамика вскрытия на траектории вращающегося боеприпаса с правильно движущимся корпусом, состоящим из кассеты и оболочки. Системы координат. Лекция 4.2. Физико-механическая модель процесса вскрытия. Уравнения движения центра масс боеприпаса. Уравнения движения кассеты относительно оболочки. Лекция 4.3. Уравнения радиального движения боевых элементов. Уравнения свободного движения боевых элементов.  | 20    | 6                                     | 6      | 0                      | 14                               | 8                          | 8                 | 8                 |
| <b>Всего за 9 семестр</b> |         |  | 144   | 68                                    | 34     | 34                     | 76                               | 50                         | 50                | 50                |
| 5                         | 10      | <b>Раздел 5. Динамика разделения боеприпасов на траектории-2.</b>  | 20    | 12                                    | 6      | 6                      | 8                                | 12                         | 12                | 12                |



|                            |    |  |     |     |    |    |     |     |     |     |
|----------------------------|----|--|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
|                            |    | Лекция 4.4. Динамика вскрытия на траектории боеприпаса с произвольно движущимся корпусом и поступательно движущимися относительно корпуса отделяющимися боевыми элементами. Физико-механическая модель процесса разделения. Системы координат. Уравнения Эйлера-Пуассона для движения корпуса и свободного движения боевых элементов. Лекция 4.5. Уравнение относительного движения боевого элемента. Определение сил и моментов, действующих на корпус со стороны боевых элементов. Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений. Лекция 4.6. Динамика вскрытия на траектории головной части с произвольным движением разделяющихся тел в пространстве. Физико-механическая модель процесса вскрытия. Силы взаимодействия разделяющихся тел. Состав системы дифференциальных уравнений математической модели.  |     |     |    |    |     |     |     |     |
| 5                          | 10 | <b>Раздел 6. Динамика газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов и расчет напряженно-деформируемых состояний элементов боеприпасов.</b> Лекция 5.1. Расчет динамики поршневых газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов. Типовой газо-жидкостный вытеснительный цилиндр. Физико-механическая модель процесса вытеснения. Уравнения изменения параметров газа в газовой прослойке под поршнем. Лекция 5.2. Уравнения движения вытесняемой массы жидкости. Замыкающие соотношения. Численный метод решения системы дифференциальных уравнений. Лекция 5.3. Расчет напряженно-деформированных состояний систем связанных стержней в конструкциях боеприпасов. Физико-механическая постановка задачи. Уравнения упруго-пластического растяжения-сжатия типового стержня. Лекция 5.4. Типовые задачи расчета растяжения-сжатия стержня. Алгоритм расчета деформаций в системе двух связанных стержней.   | 26  | 16  | 8  | 8  | 10  | 12  | 12  | 12  |
| 5                          | 10 | <b>Раздел 7. Расчет прогрева типовых стенок конструкций систем вооружения и боеприпасов.</b> Лекция 6.1. Квазилинейное уравнение теплопроводности с кусочно непрерывными коэффициентами для описания нестационарных тепловых полей плоских, цилиндрических и сферических стенок. Основные понятия теории разностных схем: аппроксимация, устойчивость, сходимости. Явные и неявные разностные схемы для одномерного уравнения теплопроводности. Лекция 6.2. Схемы дробных шагов (суммарной аппроксимации), схемы переменных направлений и схемы приближенной факторизации для двумерных уравнений теплопроводности. Лекция 6.3 Аппроксимация сеточных граничных условий I, II и III рода методом уменьшения невязки. Метод скалярной прогонки для решения сеточных уравнений. Лекция 6.4. Итерационный метод расчета динамики ГЖТМС в целом. Расчет тепловых потоков в сосудах от газа к стенкам.  | 26  | 16  | 8  | 8  | 10  | 12  | 12  | 12  |
| 5                          | 10 | <b>Раздел 8. Расчет нестационарных течений газовых смесей и сжимаемых капельных жидкостей в каналах тепломеханических систем.</b> Лекция 7.1. Физико-механическая модель течения рабочего тела в канале ГЖТМС. Дифференциальные уравнения нестационарного турбулентного течения бинарной газовой смеси для осредненных по сечению параметров потока. Общий вид уравнений квазиодномерного течения в подвижной системе координат. Лекция 7.2. Расчет тепловых потоков и коэффициентов гидравлического сопротивления трения при течении в каналах. Типовые граничные условия на срезах каналов ГЖТМС. Лекция 7.3. Обзор разностных методов решения уравнений одномерной газовой динамики. Сравнительный анализ. Лекция 7.4. Явно-неявная схема предиктор-корректор метода коррекции потоков переноса для обобщенного уравнения квазиодномерного движения газовой смеси. Лекция 7.5. Типовые сеточные граничные условия на срезах каналов ГЖТМС. Способы построения сеток, адаптирующихся к размерам и особенностям течения в расчетной области. Лекция 7.6. Расчет нестационарных течений капельных сжимаемых жидкостей в каналах вытеснительных систем. | 36  | 24  | 12 | 12 | 12  | 14  | 14  | 14  |
| <b>Всего за 10 семестр</b> |    |  | 108 | 68  | 34 | 34 | 40  | 50  | 50  | 50  |
| <b>Всего по дисциплине</b> |    |  | 252 | 136 | 68 | 68 | 116 | 100 | 100 | 100 |

### 3.2. Лабораторный практикум

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины  | Тема лабораторного практикума  | Объем, ауд. часов |
|-------|--|--|-------------------|
| 1     | Раздел 1. Системы вооружения и боеприпасы как газо-жидкостные тепломеханические системы твердых и деформируемых тел. | Решение тестовых задач при расчете горения порохов в сосудах ГТМС (горение в замкнутом объеме при постоянных скорости и поверхности горения заряда, проверка баланса масс и объемов компонент при горении пороха в замкнутом объеме, изменение параметров газа в объеме при критическом истечении через малое отверстие, при затекании в отверстие в критическом режиме, проверка баланса массы и энергии при перетекании из сосуда в сосуд. | 10                |
| 2     | Раздел 2. Расчет внутрибаллистических процессов при горении порохов в системах сообщающихся объемов с                | Расчетное исследование влияния перетока пороховых зерен из газогенератора в рабочий цилиндр на динамику привода.   | 12                |



|                            |   |  |    |
|----------------------------|---|--|----|
|                            | подвижными элементами.  |  |    |
| 3                          | Раздел 3. Разностные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.   | Расчетное исследование внутренней баллистики телескопического выстрела с двухкамерной гильзой.   | 12 |
| <b>Всего за 9 семестр</b>  |   |  | 34 |
| 4                          | Раздел 5. Динамика разделения боеприпасов на траектории-2.  | Расчет динамики вскрытия на траектории разделяющегося боеприпаса с произвольно движущимся корпусом.  | 6  |
| 5                          | Раздел 6. Динамика газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов и расчет напряженно-деформируемых состояний элементов боеприпасов. | Расчет динамики поршневой ГЖВС с закрепленным корпусом.  | 8  |
| 6                          | Раздел 7. Расчет прогрева типовых стенок конструкций систем вооружения и боеприпасов.   | Расчет динамики выстрела из ствольной артиллерийской системы с учетом постепенности воспламенения основного заряда и прогрева стенок конструкции | 8  |
| 7                          | Раздел 8. Расчет нестационарных течений газовых смесей и сжимаемых капельных жидкостей в каналах тепломеханических систем.              | Завершение и оформление выполненных ранее расчетных работ  | 12 |
| <b>Всего за 10 семестр</b> |   |  | 34 |

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

| № п/п                     | Номер и наименование раздела дисциплины  | Содержание учебного задания  | Объем, часов |
|---------------------------|--|--|--------------|
| 1                         | Раздел 1. Системы вооружения и боеприпасы как газо-жидкостные тепломеханические системы твердых и деформируемых тел.         | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 10           |
| 2                         | Раздел 2. Расчет внутрибаллистических процессов при горении порохов в системах сообщающихся объемов с подвижными элементами. | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 34           |
| 3                         | Раздел 3. Разностные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.  | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 18           |
| 4                         | Раздел 4. Динамика разделения боеприпасов на траектории-1.   | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 14           |
| <b>Всего за 9 семестр</b> |  |  | 76           |
| 5                         | Раздел 5. Динамика разделения боеприпасов на траектории-2.   | Выполнение курсовой работы   | 3            |
| 6                         |  | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 5            |

|                            |   |  |           |
|----------------------------|---|--|-----------|
| 7                          | Раздел 6. Динамика газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов и расчет напряженно-деформируемых состояний элементов боеприпасов. | Выполнение курсовой работы   | 5         |
| 8                          |   | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 5         |
| 9                          | Раздел 7. Расчет прогрева типовых стенок конструкций систем вооружения и боеприпасов.   | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 5         |
| 10                         |   | Выполнение курсовой работы   | 5         |
| 11                         | Раздел 8. Расчет нестационарных течений газовых смесей и сжимаемых капельных жидкостей в каналах тепломеханических систем.              | Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе | 7         |
| 12                         |   | Выполнение курсовой работы   | 5         |
| <b>Всего за 10 семестр</b> |   |  | <b>40</b> |

### 3.4. Курсовая работа

| СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА  | ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра) | ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час) |
|---|-------------------------------------|-------------------------|
| Этап 1. Расчет динамики вскрытия на траектории разделяющегося боеприпаса с произвольно движущимся корпусом.   | 1 - 5                               | 6                       |
| Этап 2. Расчет динамики поршневой ГЖВС с закрепленным корпусом.   | 6 - 9                               | 6                       |
| Этап 3. Расчет динамики выстрела из ствольной артиллерийской системы с учетом постепенности воспламенения основного заряда и прогрева стенок конструкции. | 10 - 13                             | 6                       |
| <b>Всего за 10 семестр</b>  |                                     | <b>18</b>               |

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| СЕМЕСТР | НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА |   |   |      |   |    |   |   |      |    |    |    |    |    |          |    |                         |
|---------|-----------------|---|---|------|---|----|---|---|------|----|----|----|----|----|----------|----|-------------------------|
|         | 1               | 2 | 3 | 4    | 5 | 6  | 7 | 8 | 9    | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15       | 16 | 17                      |
| 9       |                 |   |   | Колл |   | ДР |   |   | Колл | ДР |    |    |    |    | Колл     | ДР | Вопр. Экз               |
| 10      |                 |   |   | Колл |   | ДР |   |   | Колл | ДР |    |    |    |    | Колл, КР | ДР | Вопр.Диф.Зач, диф. зач. |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Колл – коллоквиум;
- КР – курсовая работа;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену;
- Вопр. Диф. Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- курсовая работа;
- вопросы к экзамену;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен;
- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. Б. Э. Кэрт ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Математическое моделирование динамики газожидкостных тепломеханических систем ракетно-артиллерийской техники. Ч. I Внутренняя баллистика многополостных пиромеханизмов. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, 40 экз.
2. Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец. . Математическое моделирование и экспериментальная отработка систем разделения реактивных снарядов. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
3. Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец. . Разделение неуправляемых снарядов систем залпового огня. М.: Машиностроение, 2008, 20 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Вестник академии военных наук;
2. Вопросы оборонной техники. Серия 16;
3. Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук;
4. Естественные и технические науки.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
3. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
4. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
5. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Google Chrome.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Лабораторные занятия:**

1. Проектор;
2. Google Chrome.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО, РАКЕТНОГО И БОМБОВОГО ВООРУЖЕНИЯ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлениям: 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели, 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели. Дисциплина реализуется на факультете *Е* Оружие и системы вооружения БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е3* СРЕДСТВА ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСЫ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-22 (17.05.01) способность самостоятельно разрабатывать математические модели физических процессов при функционировании образцов боеприпасов и взрывателей;

ОПК-12 (17.05.01) способность качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения;

ОПК-12 (17.05.01) способность качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с формированием целостной системы знаний по основам математического моделирования физико-механических процессов, определяющих в целом функционирование систем ракетно-артиллерийских вооружений и боеприпасов к ним, рассматриваемых как единые газо-жидкостные тепломеханические системы, а также получение соответствующей совокупности практических навыков расчета типовых физико-механических процессов и численного решения сопряженных задач динамики газо-жидкостных тепломеханических систем твердых и деформируемых тел, термодинамики, гидрогазодинамики, аэродинамики, тепло - и массообмена, определяющих функционирование снарядов, ракет и боеприпасов различного назначения. Основными задачами дисциплины является усвоение теоретического и методического материала, составляющего базу для методов расчета основных характеристик изделий, изучаемых в рамках специальности 17.05.01 «Боеприпасы и взрыватели».

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, коллоквиумы, самостоятельная работа студента, консультации, выполнение курсовой работы.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущая аттестация в форме сдачи лабораторных работ и этапов курсовой работы, рубежная аттестация в форме коллоквиумов и промежуточный контроль в форме устного экзамена в 9-ом семестре и дифференцированного зачета в 10-ом семестре.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- курсовая работа;
- вопросы к экзамену;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен;
- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 7 з.е., 252 ч. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (68 ч.), лабораторный практикум (68 ч.), самостоятельная работа студента (116 ч).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 252 ч., из них 136 ч. аудиторных занятий, и 116 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

| Наименование работы   | Рекомендуемая литература  | Трудоемкость, час. |
|---|---|--------------------|
| <b>Раздел 1. Системы вооружения и боеприпасы как газо-жидкостные тепломеханические системы твердых и деформируемых тел.</b>         |   |                    |
| Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе  | Б. Э. Кэрт ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова.<br>Математическое моделирование динамики газожидкостных тепломеханических систем ракетно-артиллерийской техники.<br>Ч. I Внутренняя баллистика многополостных пиромеханизмов: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1)   | 10                 |
| Итого по разделу 1  |   | 10                 |
| <b>Раздел 2. Расчет внутрибаллистических процессов при горении порохов в системах сообщающихся объемов с подвижными элементами.</b> |   |                    |
| Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе  | Б. Э. Кэрт ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова.<br>Математическое моделирование динамики газожидкостных тепломеханических систем ракетно-артиллерийской техники.<br>Ч. I Внутренняя баллистика многополостных пиромеханизмов: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (2,3) | 34                 |
| Итого по разделу 2  |   | 34                 |
| <b>Раздел 3. Разностные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.</b>  |   |                    |
| Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе  | Б. Э. Кэрт ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова.<br>Математическое моделирование динамики газожидкостных тепломеханических систем ракетно-артиллерийской техники.<br>Ч. I Внутренняя баллистика многополостных пиромеханизмов: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (5)   | 18                 |
| Итого по разделу 3  |   | 18                 |
| <b>Раздел 4. Динамика разделения боеприпасов на траектории-1.</b>   |   |                    |
| Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе  | Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец. . Математическое моделирование и экспериментальная отработка систем разделения реактивных снарядов: Москва: Юрайт, 2020 (5.3-5.4)  | 14                 |
| Итого по разделу 4  |   | 14                 |
| <b>Раздел 5. Динамика разделения боеприпасов на траектории-2.</b>   |   |                    |
| Выполнение курсовой работы  | Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец. . Математическое моделирование и экспериментальная отработка систем разделения реактивных снарядов: Москва: Юрайт, 2020 (5.5-5.6)  | 3                  |
| Изучение предусмотренных рабочей программой   |   | 5                  |

|   |  |    |
|---|--|----|
| дидактических единиц по рекомендуемой литературе  |  |    |
| Итого по разделу 5  |  | 8  |
| Раздел 6. Динамика газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов и расчет напряженно-деформируемых состояний элементов боеприпасов. |  |    |
| Выполнение курсовой работы  | Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец. . Математическое моделирование и экспериментальная отработка систем разделения реактивных снарядов: Москва: Юрайт, 2020 (5.7-5.9) | 5  |
| Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе  |  | 5  |
| Итого по разделу 6  |  | 10 |
| Раздел 7. Расчет прогрева типовых стенок конструкций систем вооружения и боеприпасов.   |  |    |
| Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе  | Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец. . Разделение неуправляемых снарядов систем залпового огня: М.: Машиностроение, 2008 (6.1-6.4)                                     | 5  |
| Выполнение курсовой работы  |  | 5  |
| Итого по разделу 7  |  | 10 |
| Раздел 8. Расчет нестационарных течений газовых смесей и сжимаемых капельных жидкостей в каналах тепломеханических систем.              |  |    |
| Изучение предусмотренных рабочей программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе  | Б. Э. Кэрт, В. И. Козлов, Н. А. Макаровец. . Разделение неуправляемых снарядов систем залпового огня: М.: Машиностроение, 2008 (4)   | 7  |
| Выполнение курсовой работы  |  | 5  |
| Итого по разделу 8  |  | 12 |



## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- коллоквиум;
- вопросы к экзамену;
- курсовая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- экзамен;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Коллоквиум

Проводится по результатам прошедших тем. Аттестовывается студент, обнаруживший знание основного пройденного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы.

#### Вопросы к экзамену

1. Типовой сосуд газовой тепломеханической системы (ТМС). Структура. Основные допущения.
2. Линейная и массовая скорости горения зерненного пороха.
3. Определение газоприхода при горении зерненного пороха в системе сообщающихся объемов на основе линейной и массовой скорости горения.
4. Уравнение изменения массы газовой фазы в типовом сосуде ТМС.
5. Уравнение изменения массовой доли первой компоненты газовой фазы в типовом сосуде ТМС.
6. Уравнение изменения массы горящих зерен пороха в типовом сосуде ТМС.
7. Уравнение изменения массы твердого остатка в типовом сосуде ТМС.
8. Уравнение изменения внутренней (полной) энергии газовой фазы в типовом сосуде ТМС.
9. Уравнение изменения свободного объема газовой фазы в типовом сосуде ТМС.
10. Схема решения задачи динамики ТМС в целом. Уравнения движения подвижных элементов в неподвижном корпусе.
11. Уравнения изменения величин свода зарядов-моноблоков и зерен топлива.
12. Расчет поверхности горения и объема зерен при истечении или затекании газо-пороховой смеси в сосуд ТМС.
13. Уравнение изменения числа зерен при истечении газо-пороховой смеси из сосуда ТМС.
14. Алгоритм расчета горения в сосуде ТМС, заполняемом газо-пороховой смесью из смежных газогенераторов с зерненными зарядами монодисперсного пороха.
15. Расчет коэффициентов перекрытия отверстий зернами при истечении газо-пороховой смеси в отверстие.
16. Расчет работы, совершаемой газом при перетоке зерен твердой фазы из сосуда в сосуд и при движении подвижных элементов.
17. Уравнение состояния бинарной смеси коволюм-газов и соотношения между массовыми и объемными долями компонент.
18. Сопряженные задачи конвективного теплообмена. Формулировка условий сопряжения в форме граничных условий четвертого рода. Формулировка условий сопряжения в форме граничных условий третьего рода. Закон конвективного теплообмена Ньютона. Достоинства и недостатки.
19. Баланс тепла при горении газо-пороховой смеси в сосуде.
20. Расчет тепловых потоков от газа к стенкам. Конвективный, лучистый и кондуктивный тепловой поток. Коэффициент конвективного теплообмена. Критериальные соотношения для числа Нуссельта.
21. Расчет теплообмена между газом и твердым остатком.
22. Расчет энергоприхода от горения порохов и твердых топлив. Полная удельная энергия пороха при начальной температуре. Теплота сгорания. Изохорная температура горения. Сила пороха.
23. Расчет расхода газовой фазы при перетоке коволюм-газа из сосуда в сосуд через отверстие.

### **Курсовая работа**

Курсовая работа представляется в печатной форме. Прием курсовой работы оформляется после ее защиты. Защита курсовой работы проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Курсовая работа содержит индивидуальное задание.

Защита курсовой работы осуществляется целиком.

Правильное оформление пояснительной записки и верные своевременные ответы студента на вопросы преподавателя являются основанием для приема курсовой работы.

Защита курсовой работы оценивается оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «не защитил».

Основой для определения оценки служит уровень усвоения студентом материала, предусмотренного учебной программой дисциплины.

– оценки «отлично» по итогам защиты курсовой работы заслуживает студент, обнаруживший при ответах на вопросы всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, выполнивший курсовую работу без ошибок и в полном объеме, представивший пояснительную записку оформленную в соответствии с действующими требованиями;

– оценки «хорошо» по итогам защиты курсовой работы заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, выполнивший курсовую работу без ошибок и в полном объеме, представивший пояснительную записку содержащую незначительные отступления от действующих требований и погрешности оформления;

– оценки «удовлетворительно» по итогам защиты курсовой работы заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, выполнивший курсовую работу без ошибок и в полном объеме, представивший пояснительную записку содержащую серьезные отступления от действующих требований и существенные погрешности оформления;

– оценка «не защитил» по итогам защиты курсовой работы выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала и материалов представленной им курсовой работы, допустившему принципиальные ошибки при ответах на вопросы преподавателя. Как правило, оценка «не защитил» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании БГТУ без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

### **Вопросы к дифференцированному зачету**

1. Явные и неявные разностные схемы для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, разрешенных относительно производной.
2. Явные методы Рунге-Кутты 2-4 порядка точности.
3. Оценка локальной погрешности на шаге интегрирования. Метод Рунге автоматического выбора шага по времени при заданной величине локальной погрешности интегрирования.
4. Выбор шага интегрирования по контрольному члену для двух специально подобранных схем Рунге-Кутты. Контрольный член Егорова.
5. Уравнения Пуассона для производных направляющих косинусов связанной системы координат снаряда в стартовой.
6. Уравнения Эйлера-Пуассона для описания пространственного движения снаряда по траектории.
7. Уравнение теплопроводности для описания прогрева стенок тепломеханических систем. Случаи одномерной и двумерной теплопроводности в плоской стенке, в цилиндрической стенке, одномерной теплопроводности в сферической стенке.
8. Постановка граничных условий 1, 2, 3 рода. Условия сопряжения на поверхностях разрыва теплофизических свойств. ГУ на оси симметрии цилиндра.
9. Явные и неявные разностные схемы для уравнений теплопроводности. условия устойчивости.
10. Уравнение теплопроводности для приращения температуры на шаге по времени.
11. Двухслойная трехточечная неявная схема для уравнения теплопроводности (схема Крана-Николсона).
12. Метод простых итераций для нелинейных сеточных уравнений неявных разностных схем уравнения теплопроводности.
13. Двумерные уравнения теплопроводности. Расщепление по пространственным координатам. Метод переменных направлений и метод дробных шагов.
14. Метод прогонки для решения трехточечных сеточных уравнений.
15. Динамика вскрытия на траектории вращающегося боеприпаса с правильно движущимся корпусом, состоящим из кассеты и оболочки и радиально выходящих из кассеты боевых элементов. Основные допущения. Выбор систем координат.
16. Физико-механическая модель процесса вскрытия. Уравнения движения центра масс боеприпаса. Уравнения движения кассеты относительно оболочки.
17. Уравнения радиального движения боевых элементов.

18. Основная задача внешней баллистики для свободного движения боевых элементов.
19. Динамика вскрытия на траектории боеприпаса с произвольно движущимся корпусом и поступательно движущимися относительно корпуса отделяющимися боевыми элементами. Физико-механическая модель процесса разделения. Системы координат.
20. Уравнения Эйлера-Пуассона для движения корпуса и свободного движения боевых элементов.
21. Уравнение относительного движения боевого элемента. Определение сил и моментов, действующих на корпус со стороны боевых элементов.
22. Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений.
23. Динамика вскрытия на траектории головной части с произвольным движением разделяющихся тел в пространстве. Физико-механическая модель процесса вскрытия.
24. Силы взаимодействия разделяющихся тел.
25. Состав системы дифференциальных уравнений математической модели.
26. Расчет динамики поршневых газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов. Типовой газо-жидкостный вытеснительный цилиндр. Физико-механическая модель процесса вытеснения.
27. Уравнения изменения параметров газа в газовой прослойке под поршнем.
28. Уравнения движения вытесняемой массы жидкости. Замыкающие соотношения. Численный метод решения системы дифференциальных уравнений.
29. Расчет напряженно-деформированных состояний систем связанных стержней в конструкциях боеприпасов. Физико-механическая постановка задачи. Уравнения упруго-пластического растяжения-сжатия типового стержня.
30. Типовые задачи расчета растяжения-сжатия стержня. Алгоритм расчета деформаций в системе двух связанных стержней.
31. Квазилинейное уравнение теплопроводности с кусочно-непрерывными коэффициентами для описания нестационарных тепловых полей плоских, цилиндрических и сферических стенок.
32. Основные понятия теории разностных схем: аппроксимация, устойчивость, сходимость.
33. Явные и неявные разностные схемы для одномерного уравнения теплопроводности.
34. Схемы дробных шагов (суммарной аппроксимации), схемы переменных направлений и схемы приближенной факторизации для двумерных уравнений теплопроводности.
35. Аппроксимация сеточных граничных условий I, II и III рода методом уменьшения невязки.
36. Метод скалярной прогонки для решения трехточечных сеточных уравнений.
37. Итерационный метод расчета динамики ГЖТМС в целом.
38. Расчет тепловых потоков в сосудах от газа к стенкам.
39. Физико-механическая модель течения рабочего тела в канале ГЖТМС. Дифференциальные уравнения нестационарного турбулентного течения бинарной газовой смеси для осредненных по сечению параметров потока.
40. Общий вид уравнений квазиодномерного течения в подвижной системе координат.
41. Расчет тепловых потоков и коэффициентов гидравлического сопротивления трения при течении в каналах.
42. Типовые граничные условия на срезах каналов ГЖТМС.
43. Обзор разностных методов решения уравнений одномерной газовой динамики. Сравнительный анализ.
44. Явно-неявная схема предиктор-корректор метода коррекции потоков переноса для обобщенного уравнения квазиодномерного движения газовой смеси.
45. Способы построения сеток, адаптирующихся к размерам и особенностям течения в расчетной области.
46. Расчет нестационарных течений капельных сжимаемых жидкостей в каналах вытеснительных систем

### **Экзамен**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

В девятом семестре промежуточная аттестация происходит в форме экзамена. Для получения оценки студент устно отвечает на 3 вопроса из различных разделов РПД. Количество правильных ответов определяет итоговую оценку:

1. Ни одного правильного ответа - оценка "неудовлетворительно"
2. Один правильный ответ - оценка "удовлетворительно"
3. Два правильных ответа - оценка "хорошо"
4. Три правильных ответа - оценка "отлично"

### **Дифференцированный зачет**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в

соответствии с графиком раздела 4.

В десятом семестре промежуточная аттестация происходит в форме дифференцированного зачета. Для получения оценки студент устно отвечает на 3 вопроса из различных разделов РПД. Количество правильных ответов определяет итоговую оценку:

1. Ни одного правильного ответа - оценка "не зачтено".
2. Один правильный ответ - оценка "зачтено-удовлетворительно"
3. Два правильных ответа - оценка "зачтено-хорошо"
4. Три правильных ответа - оценка "зачтено-отлично"

Паспорт фонда оценочных средств

| КУРС               | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц  | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                        | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |                   |                   | НАИМЕНОВАНИЕ<br>ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА                               |
|--------------------|---------|---|-------|---------------------------------------|--------|------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|---|
|                    |         |   |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Лабораторный практикум |                                  | ПСК-22 (17.05.01)          | ОПК-12 (17.05.01) | ОПК-12 (17.05.01) |   |
| 5                  | 9       | Раздел 1. Системы вооружения и боеприпасы как газо-жидкостные тепломеханические системы твердых и деформируемых тел.                    | 24    | 14                                    | 4      | 10                     | 10                               | 6                          | 6                 | 6                 | Вопросы к экзамену, Коллоквиум                                    |
| 5                  | 9       | Раздел 2. Расчет внутрибаллистических процессов при горении порохов в системах сообщающихся объемов с подвижными элементами.            | 62    | 28                                    | 16     | 12                     | 34                               | 24                         | 24                | 24                | Вопросы к экзамену, Коллоквиум                                    |
| 5                  | 9       | Раздел 3. Разностные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений.   | 38    | 20                                    | 8      | 12                     | 18                               | 12                         | 12                | 12                | Вопросы к экзамену, Коллоквиум                                    |
| 5                  | 9       | Раздел 4. Динамика разделения боеприпасов на траектории-1.  | 20    | 6                                     | 6      | 0                      | 14                               | 8                          | 8                 | 8                 | Вопросы к экзамену, Коллоквиум                                    |
| Всего за 9 семестр |         |   | 144   | 68                                    | 34     | 34                     | 76                               | 50                         | 50                | 50                |   |
| 5                  | 10      | Раздел 5. Динамика разделения боеприпасов на траектории-2.  | 20    | 12                                    | 6      | 6                      | 8                                | 12                         | 12                | 12                | Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум, Курсовая работа |
| 5                  | 10      | Раздел 6. Динамика газо-жидкостных вытеснительных систем боеприпасов и расчет напряженно-деформируемых состояний элементов боеприпасов. | 26    | 16                                    | 8      | 8                      | 10                               | 12                         | 12                | 12                | Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум |
| 5                  | 10      | Раздел 7. Расчет прогрева типовых стенок конструкций систем вооружения и боеприпасов.   | 26    | 16                                    | 8      | 8                      | 10                               | 12                         | 12                | 12                | Курсовая работа, Вопросы к дифференцированному зачету, Коллоквиум |

|                            |    |   |     |     |    |    |     |     |     |     |   |
|----------------------------|----|---|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|---|
| 5                          | 10 | <b>Раздел 8. Расчет<br/>нестационарных<br/>течений газовых<br/>смесей и сжимаемых<br/>капельных жидкостей<br/>в каналах<br/>тепломеханических<br/>систем.</b> | 36  | 24  | 12 | 12 | 12  | 14  | 14  | 14  | Вопросы к<br>дифференцированному<br>зачету,<br>Курсовая работа,<br>Коллоквиум |
| <b>Всего за 10 семестр</b> |    |   | 108 | 68  | 34 | 34 | 40  | 50  | 50  | 50  |   |
| <b>Всего по дисциплине</b> |    |   | 252 | 136 | 68 | 68 | 116 | 100 | 100 | 100 |   |